

УДК 621.923.42

В.І. Кальченко, д-р техн. наук, В.В. Кальченко, д-р техн. наук,
О.С. Сліднікова, Чернігів, Україна

3D-МОДЕЛЮВАННЯ ІНСТРУМЕНТІВ, ПРОЦЕСУ ЗНЯТТЯ ПРИПУСКУ ТА ФОРМОУТВОРЕННЯ ПРИ ДВОСТОРОННЬОМУ ТОРЦЕВОМУ ШЛІФУВАННІ НЕКРУГЛИХ ДЕТАЛЕЙ ОРІЄНТОВАНИМИ КРУГАМИ

Запропоновано трьохмірне геометричне моделювання інструментів, процесу зняття припуску та формоутворення при двосторонньому торцевому шліфуванні циліндричних деталей з некруглим профілем. Шліфування деталей виконується орієнтованими профільованими шліфувальними кругами, які правляться перед обробкою. Комбінована правка включає правку ділянки для зняття чорнового припуску та калібруючої ділянки. У розроблених способах обробки торців циліндричних деталей з некруглим профілем досліджено вплив орієнтації деталей в барабані на їх точність.

Ключові слова: 3D-моделювання інструментів, формоутворення, шліфування циліндричних деталей

Предложено трехмерное геометрическое моделирование инструментов процесса, снятия припуска и формообразования при двустороннем торцевом шлифовании цилиндрических деталей с некруглым профилем. Шлифование деталей выполняется ориентированными профилированными шлифовальными кругами, которые правятся перед обработкой. Комбинированная правка включает правку участка для снятия чорнового припуска и калибрующего участка. В разработанных способах обработки торцов цилиндрических деталей с некруглым профилем исследовано влияние ориентации деталей в барабане на их точность.

Ключевые слова: 3D-моделирование инструментов, формообразование, шлифование цилиндрических деталей

A three-dimensional geometric modeling of process tools, stock removal and shaping at the bilateral face grinding of cylindrical parts with a non-circular profile. Grinding parts performed oriented profiled grinding wheels, who ruled before processing. Combination editing includes editing area to remove rough allowance and the sizing section. The developed methods of processing the ends of cylindrical parts with a non-circular profile, investigated the influence of the orientation of parts in the drum on their accuracy.

Keywords: 3D-modeling of tools, shaping, grinding of cylindrical parts

Найважливіша тенденція розвитку тривимірного геометричного моделювання в країнах, де розвинене машинобудування. Проте існуючі 3D-моделі недостатньо враховують особливості інструментів, зняття припуску в процесі шліфування. В умовах, коли вітчизняне машинобудування прагне стати конкурентоспроможним та високоефективним, ця проблема набуває народногосподарського значення.

На машинобудівних підприємствах України параметри точності і якості обробки відповідальних деталей машин традиційно формуються при шліфуванні. В повній мірі це відноситься до обробки відповідальних деталей з торцевими робочими поверхнями, для яких встановлюються високі вимоги

по точності і якості обробки: кінцевих мір, багатограних непереточуваних твердосплавних пластин, прямокутних кришок, фланців та інших.

Найбільш продуктивним способом шліфування торців циліндричних деталей різних профілів є шліфування на двосторонніх торцешліфувальних верстатах. Так, наприклад, абразивне шліфування торцевих поверхонь на двосторонньому торцешліфувальному верстаті моделі 3342 АДО є більш високоефективним в порівнянні з обробкою на плоскошліфувальних та односторонніх торцешліфувальних верстатах.

Розробка нових взаємопов'язаних 3D-моделей інструментів та формоутворення, які описують процес двостороннього торцевого шліфування циліндричних деталей з некруглим профілем орієнтованими профільованим шліфувальними кругами, їх дослідження сприятимуть створенню нових високоефективних способів та технологій шліфування і їх впровадженню в промисловість.

В роботах [1, 2] наведено модульну трьохмірну модель оброблюваної поверхні при двосторонньому торцевому шліфуванні циліндричних деталей, яка використовується при розрахунках точності формоутворення та процесу зняття припуску.

Відома фірма Saturn (Німеччина) [3] обробляє різноманітні деталі на двосторонніх торцешліфувальних верстатах, але шліфування відбувається з невеликим нахилом шліфувальних кругів тільки в одній площині. При цьому максимальний діаметр виконує чорнову обробку на вході деталі в зону обробки та чистове шліфування на виході, що знижує точність обробки за рахунок зносу шліфувального круга.

В роботі [4] розглядається двостороннє шліфування торців циліндричних деталей з круглим профілем. Орієнтація шліфувального круга здійснюється в двох площинах. Шліфувальний круг складається з ділянки для зняття чорнового припуску та калібруючої ділянки з застосуванням комбінованої правки. Але в даній роботі розглядається обробка тільки циліндричних деталей з круглим профілем, що не потребує їх орієнтації в барабані.

В роботі [5] розглядається двостороннє шліфування торців циліндричних некруглих деталей. Орієнтація шліфувального круга здійснюється в двох площинах. Деталь розташовується згідно умови мінімізації дуги контакту на найбільшому радіусі шліфувального круга. Але в роботі відсутні профілювання шліфувального круга та дослідження впливу орієнтації деталей в барабані на їх точність.

Метою даної роботи є створення трьохмірної геометричної моделі, яка описує інструмент, процеси зняття припуску та формоутворення поверхонь циліндричних деталей з некруглим профілем та оптимізація кута їх орієнтації в барабані подачі виробів. Це дозволить за загальним алгоритмом аналізувати процеси зняття припуску та формоутворення, розробити нові способи і на їх

базі високоефективні технології шліфування торцевих поверхонь деталей з некруглим профілем.

На рис. 1 зображено схему процесу двостороннього шліфування торців некруглих деталей, де заготовки 7, закріплені у втулках 6 барабана подачі виробів 5, шліфуються кругами 3, 4. Шліфувальні круги повернуті на оптимальні кути разом зі шліфувальними бабками 1, 2. Поворот шліфувальних кругів 3, 4 на кути ν та γ відбувається відносно сферичних шарнірів 9. Кути орієнтації шліфувальних кругів 3, 4 обираються такими, щоб заготовка 7, яка закріплена у втулці 6 барабана подачі, не торкалася калібруючих ділянок кругів при знятті чорнового припуску.

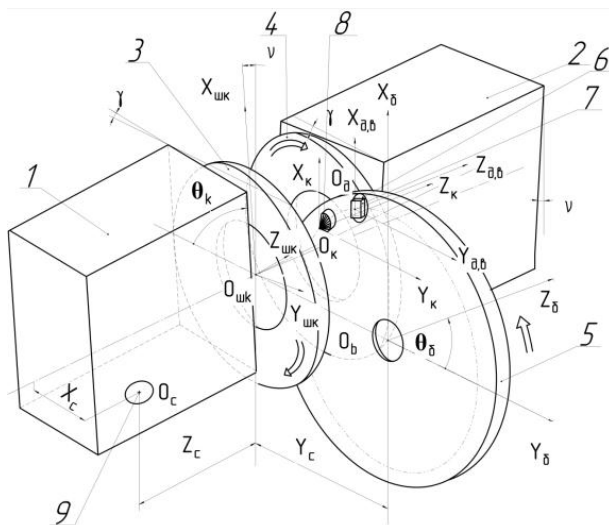


Рисунок 1 – Розрахункова схема формоутворення торців циліндричних деталей з некруглим профілем

Для отримання найбільшої точності необхідно застосовувати комбіновану правку (рис. 2), яка складається з правки торця круга (рис. 2, а) та калібруючої ділянки (рис. 2, б). За допомогою спеціального пристрою вся торцева поверхня шліфувального круга правиться в площині, перпендикулярній осі обертання інструмента. Також відбувається правка алмазним олівцем 8 калібруючої ділянки, суміжної із зовнішнім діаметром, (рис. 1), який закріплений на барабані кругової подачі 5 заготовок в зону обробки. При цьому на вході деталі в зону обробки калібруюча ділянка не бере участь у зрізанні чорнового припуску. Чорновий припуск зрізається на центральній ділянці шліфувального круга. Під час торцевого шліфування

деталі весь час переміщуються в зону, що звужується. Остаточна точність оброблених деталей формується калібруючими ділянками шліфувальних кругів на виході із зони обробки.

Для забезпечення найбільшої точності торця та рівномірного зносу круга орієнтація деталі обирається такою, щоб при обертанні барабана верхня сторона прямокутної пластини в точці, яка розташована на осі її симетрії і лежить в площині, яка перпендикулярна верхній стороні та проходить через вісь обертання барабана, дотикалася отвору шліфувального круга.

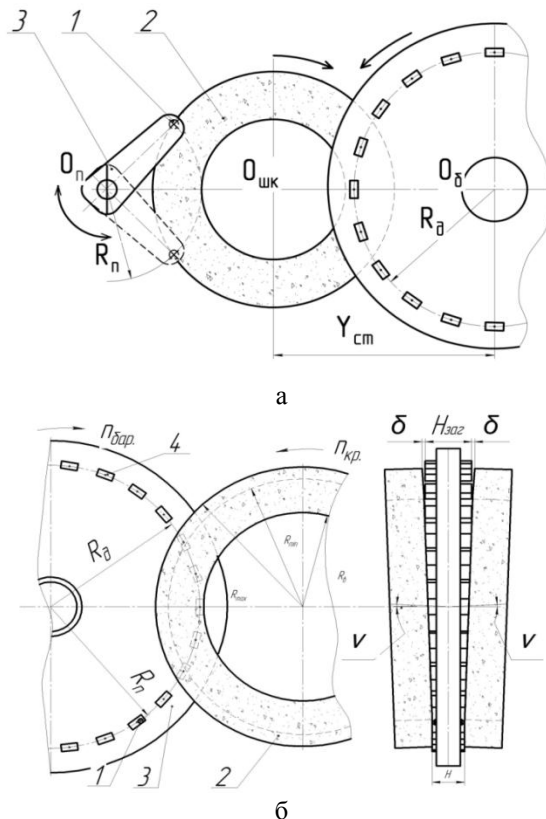


Рисунок 2 – Комбінована схема правки

Для розробки математичних моделей найбільш важливих характеристик процесу шліфування використовується функція формоутворення верстата. Вона являє собою аналітичну залежність, що зв'язує переміщення ланок

формоутворюючої системи з траєкторією руху точок інструмента відносно оброблюваної деталі в системі координат деталі.

Калібруюча ділянка інструмента при його профілюванні на верстаті описується залежністю:

$$\begin{aligned} \vec{R}_i(\theta_B, \theta) = & M6(\theta) \cdot M1(-X_c) \cdot M5(v) \cdot M4(\gamma) \cdot M2(Y_c) \cdot \\ & \cdot M1(X_c) \cdot M3(Z_c) \cdot M6(-\theta_B) \cdot M1(R_B) \cdot \vec{e4}, \end{aligned} \quad (1)$$

де θ_B , θ – параметри поверхні різального інструменту, що відповідають за кутове і радіальне положення точки робочої поверхні круга; $M1$, $M2$, $M3$, $M4$, $M5$, $M6$ – матриці перетворення систем координат, які моделюють поступальний рух вздовж осей координат і повороти навколо них; X_c , Y_c , Z_c – розміри, які визначають положення центру сферичного пальця щодо барабана подачі і робочої площини круга; γ , v – кути орієнтації шліфувальної бабки в горизонтальній і вертикальній площинах; R_B – радіальний розмір розташування осей заготовок в барабані подачі; $\vec{e4} = (0,0,0,1)^T$ – радіус-вектор вершини алмазного олівця для правки, що співпадає з початком координат.

Формоутворююча модель верстата описує сімейство інструментальних поверхонь в системі координат деталі:

$$\begin{aligned} \vec{R}_\theta(\theta_k, \theta_B, \theta) = & M1(-R_B) \cdot M6(\theta_k) \cdot M3(-Z_c) \cdot M1(-X_c) \cdot \\ & \cdot M2(-Y_c) \cdot M4(-\gamma) \cdot M5(-v) \cdot M6(X_c) \cdot \vec{R}_i(\theta_B, \theta), \end{aligned} \quad (2)$$

де θ_k – кутова координата положення центру заготовки відносно системи координат круга.

У формоутворенні торця заготовки приймає участь вся поверхня калібруючої ділянки шліфувального круга, але остаточна точність може формуватися колами найменшого радіусу R_{min} , найбільшого радіусу R_{max} або лінією контакту заготовки з кругом.

Радіус-вектор характеристики на формоутворюючій ділянці торцевої поверхні круга визначається із рівняння (2), враховуючи рівняння зв'язку для однопараметричного огинання, отримаємо:

$$\frac{\partial \vec{R}_\theta(\theta_k, \theta_B, \theta)}{\partial \theta_k} \cdot \frac{\partial \vec{R}_\theta(\theta_k, \theta_B, \theta)}{\partial \theta_B} \times \frac{\partial \vec{R}_\theta(\theta_k, \theta_B, \theta)}{\partial \theta} = 0. \quad (3)$$

Рівняння поверхні, яка утворюється при русі кола найменшого радіусу, може бути отримане із рівняння (2), якщо замість радіус-вектора поверхні підставити координати точок кола з найменшим радіусом:

$$\begin{aligned} \vec{R}_\theta(\theta_k, \theta) = & M6(k \cdot \theta_k) \cdot M1(-R_B) \cdot M6(\theta_k) \cdot M3(-Z_c) \cdot M1(-X_c) \cdot M2(-Y_c) \cdot \\ & \cdot M4(-\gamma) \cdot M5(-v) \cdot M1(X_c) \cdot M6(\theta) \cdot M1(R_{min}) \cdot M3(Z_{min}) \cdot \vec{e4}. \end{aligned} \quad (4)$$

Рівняння поверхні, яка утворюється при русі кола найбільшого радіусу, може бути отримане із рівняння (2), якщо замість радіус-вектора поверхні підставити координати точок кола з найбільшим радіусом:

$$\vec{R}_o(\theta_k, \theta) = M6(k \cdot \theta_k) \cdot M1(-R_b) \cdot M6(\theta_k) \cdot M3(-Z_c) \cdot M1(-X_c) \cdot M2(-Y_c) \cdot M4(-\gamma) \cdot M5(-\nu) \cdot M1(X_c) \cdot M6(\theta) \cdot M1(R_{\max}) \cdot M3(Z_{\max}) \cdot \vec{e}^4. \quad (5)$$

На рис. 3 а, б зображено відхилення від перпендикулярності торця кінцевої міри в залежності від її орієнтації в барабані подачі виробів. З рисунка видно, що похибка менша при розташуванні проекції меншої довжини деталі паралельно радіусу барабана (рис. 3, а).

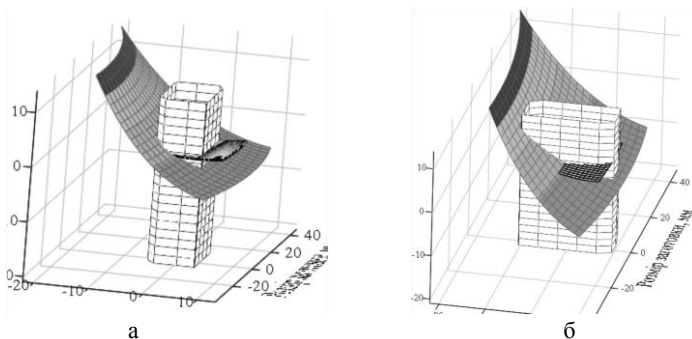


Рисунок 3 – Точність формоутворення торця деталі

На рис. 4 зображено графік залежності похибки при обробці циліндричної деталі з прямокутним профілем від кута її орієнтації в барабані подачі виробів. З графіка видно, що орієнтація деталі в барабані суттєво впливає на точність її обробки.

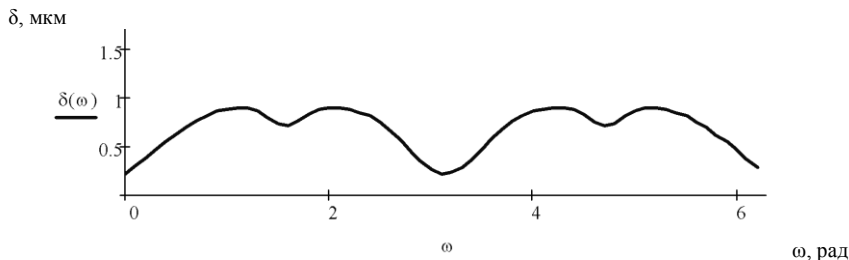


Рисунок 4 – Графік залежності похибки при обробці деталі від її кута орієнтації в барабані

На рис. 5, 6, 7 зображено відхилення від перпендикулярності торця багатограних непереточуваних пластин: тригранних (рис. 5), чотиригранних (рис. 6), п'ятигранних (рис. 7) в залежності від їх орієнтації в барабані подачі виробів.

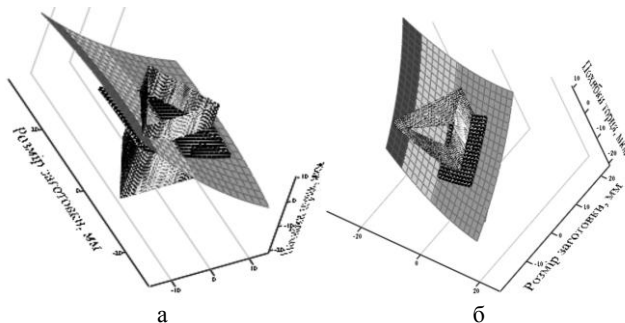


Рисунок 5 – Точність формоутворення торця тригранної непереточної пластини

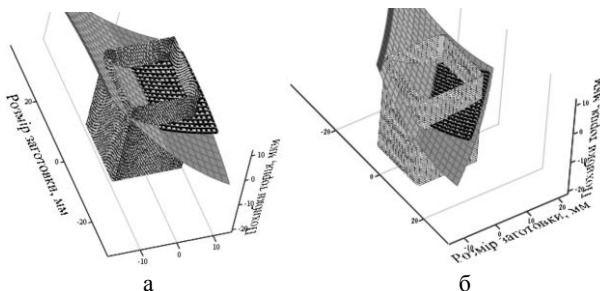


Рисунок 6 – Точність формоутворення торця чотиригранної непереточної пластини

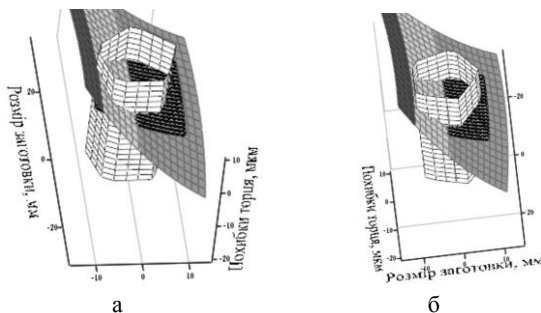


Рисунок 7 – Точність формоутворення торця п'ятигранної непереточної пластини

Як видно з рис. 3, 5-7 похибка формоутворення торця залежить від орієнтації деталей в барабані подачі виробів.

Висновок

Запропоновано трьохмірне геометричне моделювання інструментів, процесів зняття припуску та формоутворення торцевих поверхонь деталей з некруглим профілем.

З аналізу моделей розроблені нові способи шліфування торцевих поверхонь циліндричних деталей з некруглим профілем, які орієнтуються в барабані подачі, де обробка деталей відбувається орієнтованими профільованими кругами [7-9]. Для забезпечення найбільшої точності торців деталі, її орієнтація в барабані подачі обирається такою, щоб площина, яка проходить через вісь симетрії циліндричної деталі з некруглим профілем і вісь обертання барабана подачі, була паралельна проекції мінімальної висоти деталі на цю площину.

У формоутворенні торця заготовки приймає участь вся поверхня калібруючої ділянки, але остаточна точність формується колами найбільшого, найменшого діаметрів або лінією контакту заготовки з шліфувальним кругом.

При обертанні барабана верхня сторона прямокутної пластини в точці, яка розташована на осі її симетрії і лежить в площині, яка перпендикулярна верхній стороні та проходить через вісь обертання барабана, дотикається отвору шліфувального круга.

Дана методика може бути використана також при шліфуванні деталей з некруглим профілем на заточувальних та плоскошліфувальних верстатах [6]. Орієнтація кругів в двох площинах при шліфуванні на заточувальних верстатах замінюється одним кутом орієнтації інструмента.

Список використаних джерел: 1. *Гرابченко А.И., Кальченко В.И., Кальченко В.В.* Шлифование со скрещивающимися осями инструмента и детали (Монография). – Чернигов: ЧГТУ, 2009.– 356 с. 2. *Кальченко В.В.* Наукові основи ефективного шліфування зі схрещеними осями абразивного інструменту та деталі // Дисертація докт. техн. наук. Харків: НТУ «ХПІ», – 2006. – 489 с. 3. *Saturn.* Торцевое шлифование спаренными шлифовальными кругами: [Журнал для клиентов фирмы «Junkermaschinen»] / ErwinJunker: Maschinenfabric GmbH, Junkerstraße 2. Postfach 25. D 77787. – Nordrash, Germany, 2005 – 8 с. 4. *Венжсга В.И.* Підвищення ефективності шліфування торців при схрещених осях деталі та круга з калібрувальною ділянкою: Автореф. дис. к.т.н. - Харків, 2009. – 17 с. 5. *Пасов Г.В.* Підвищення точності шліфування торців за рахунок орієнтації профільного круга та врахування його поточного зносу: Автореф. дис. к.т.н. - Харків, 2000. – 16 с. 6. *Кальченко В.І., Следнікова О.С.* і ін. 3D-моделювання інструментів та формоутворення при шліфуванні торців непереточуваних прямокутних пластин орієнтованим кругом // Вісник Чернігівського державного технологічного університету: зб. – Чернігів: ЧНТУ, 2014. – Вип. № 2 (73).– С. 55-62. 7. Пат. №99707 Україна, МПК B24B7/17 / *Следнікова О.С., Кальченко Д.В.* Спосіб двостороннього шліфування торців некруглих деталей. Опубл. 25.06.2015. Бюл. №12. 8. Пат. №99832 Україна, МПК B24B5/00 / *Кальченко В.І., Музичка Д.Г., Кальченко Д.В., Следнікова О.С.* Спосіб шліфування торців прямокутних непереточуваних пластин орієнтованим кругом. Опубл. 25.06.2015. Бюл. №12. 9. Пат. №97946 Україна, МПК B24B7/00 / *Кальченко В.І., Музичка Д.Г., Кальченко Д.В., Следнікова О.С.* Спосіб шліфування торців непереточуваних пластин з прямокутним профілем. Опубл. 10.04.2015. Бюл. №7.

Bibliography (transliterated): 1. *Grabchenko A.Y., Kal'chenko V.Y., Kal'chenko V.V.* Shlyfovanie so skreshchyvaiushchimisja osjami instrumenta i detali (Monografija). – Chernigov: ChNTU, 2009. – 356 s. 2. *Kal'chenko V.V.* Naukovi osnovy efektyvnogo shlifuvannja zi skreshchenymy osjamy abrazyvnogo instrumentu ta detali // Dysertatciia dokt. tehn. nauk. Harkiv: NTU «KPI». – 2006. – 489 s. 3. Saturn. Tortcevoe shlifovanie sparennymi shlifoval'nymi krugami: [Zhurnal dlja klientov firmy «Junkermaschinen»] / ErwinJunker: Maschinenfabric Gmbh, Junkerstraße 2. Postfach 25. D 77787. – Nordrash, Germany, 2005 – 8 s. 4. *Venzhega V.I.* Pidvyshchennja efektyvnosti shlifuvannja tortciv pry skrescheny osjah detali ta kruga z kalibruvalnoju diljankoju: Avtoref. dys. k.t.n. - Harkiv, 2009. – 17 s. 5. *Pasov G.V.* Pidvyshchennia tochnosti shlifuvannja tortciv za rahunok orientacii profil'nogo kruga ta vrahuvannja yogo potochного znosu: Avtoref. dys. k.t.n. - Harkiv, 2000. – 16 s. 6. *Kal'chenko V.I., Slednikova O.S. i in.* 3D-modeljuvannja instrumentiv ta formoutvorennja pry shlifuvanni tortciv neperetochuvanyh prjamokutnyh plastyn oriientovanyh krugom // Visnyk Chernigivs'kogo derzhavnogo tehnologichnogo universytetu: zb. – Chernigiv: ChNTU, 2014. – Vyp. № 2 (73). – S. 55-62. 7. Pat. №99707 Ukraina, MPK V24V7/17 / *Slednikova O.S., Kal'chenko D.V.* Sposib dvostoronn'ogo shlifuvannja tortciv nekruglyh detalei. Opubl. 25.06.2015. Bjul. №12. 8. Pat. №99832 Ukraina, MPK V24V5/00 / *Kal'chenko V.I., Muzychka D.H., Kal'chenko D.V., Slednikova O.S.* Sposib shlifuvannja tortciv prjamokutnyh neperetochuvanyh plastyn oriientovanyh krugom. Opubl. 25.06.2015. Bjul. №12. 9. Pat. №97946 Ukraina, MPK V24V7/00 / *Kal'chenko V.I., Muzychka D.H., Kal'chenko D.V., Slednikova O.S.* Sposib shlifuvannja tortciv neperetochuvanyh plastyn z prjamokutnym profilem. Opubl. 10.04.2015. Bjul. №7.